

聲音刺激對於大腦不同部位腦波反應 之研究

A Study of Brain Wave Responses for Sound Stimuli on Different Regions

趙文鴻 ^{*1,2}Wen-Hung Chao
元培醫事科技大學生物醫學工程系

林祈佑 ¹Ci-You Lin
元培醫事科技大學福祉科技與
醫學工程碩士班

李正民 ³Cheng-Min Lee
健行科技大學電子工程系

闕翊芬 ²Yi-Fen Chueh
元培醫事科技大學生物醫學工程系

¹Institute of Wellbeing Technology and Engineering, Yuanpei University of Medical Technology

²Department of Biomedical Engineering, Yuanpei University of Medical Technology

³Department of Electronic Engineering, Chien Hsin University of Science and Technology

(Received Dec 17, 2015; Revised Jan 27, 2016; Accepted Feb 1, 2016)

摘要：人類生活在科技進步的時代，人工產物讓生活更加便利，因此也產生出許多令人不悅的聲音-噪音。過去的研究顯示，聲音種類形式會與身心健康方面有相關聯性，而大腦對於聲音的刺激都會有一定程度的反應與影響。當長期受到噪音的影響，除了對聽覺能力的下降與心理方面的改變外，也會造成注意力降低，增加在判斷決擇的失誤率與反應遲鈍的情形發生。自從腦電波圖(Electroencephalogram: EEG)發展以來，利用簡單聲音刺激來擷取大腦對聲音的生理反應，研究出聲音刺激與大腦反應的相互關係。為要了解大腦不同部位因聲音的刺激下，所產生事件相關電位(Event-Related Potential: ERP)之反應有何不同差異，因此設計一套聲音刺激實驗，針對 20 位受測者(平均年齡 24.34 歲)進行雙耳、右耳與左耳聲音刺激實驗。結果顯示，於三項實驗中所有受測者之 ERP 振幅，於 88ms 至 200ms 之間出現一最大的 ERP 峰對峰值，在雙耳聲音刺激實驗與左耳聲音刺激實驗之 ERP 峰對峰值，均較大於右耳聲音刺激實驗之 ERP 峰對峰值，並且雙耳聲音刺激實驗與左耳聲音刺激實驗，有顯著規律的右側半腦 ERP 振幅大於左側半腦之現象。

*Corresponding author



關鍵詞：腦電波圖、事件相關電位、聲音刺激、峰對峰值

Abstract : Human lives in the developed scientific and technological times, and artificial products create convenience of life. Thus, it might also create many unpleasant sounds such as noises. Previous research showed that human could create psychological and physiological relative effects from different sound form. The sound stimuli also affect a certain extent brain response. When a human is stimulated by the noise for a long time, there will be a hearing decline, increasing of error rate, and delay of response time. Since the Electroencephalogram (EEG) was developed, researchers have used simple sound stimuli to capture physiological response of the brain, and understood the correlation between sound stimuli and brain response. The purpose of this study is to evaluate brain Event-Related Potential (ERP) responses on different regions from sound stimuli. Therefore, a series of sound stimuli experiments were designed in this study. A total of 20 participants executed standard, right ear, and left ear oddball experiments. The results of 19 subjects showed that there was significantly greater peak-to-peak of ERP during 88ms to 200ms in these three experiments. The peak-to-peak of ERP in the standard and left ear oddball experiment was higher than those of ERP in the right ear oddball experiment. Furthermore, the peak-to-peak of ERP at the right hemisphere of the brain was higher than that of ERP at the left hemisphere of the brain.

Keywords:Electroencephalogram (EEG), Event-Related Potential (ERP), sound stimuli, peak-to-peak

壹、簡 介

在人類感官領域中除了利用視覺來瞭解多變的環境外，聽覺也是最直接快速的感覺傳遞途徑之一。隨著現代科技的進步，整個生活環境充斥著許多使生活更加便利的人工產物，相對的也產生許多對人類聽覺有關的聲音刺激。在我國對於聲音音量訂定有標準規範，廣泛以人們對於聲音的感受度的不同，並以數據做為判定的標準，聲音音量以 50 分貝以下視為較舒適狀態，而音量超過 70 分貝(頻率 20Hz 至 20KHz)以上，會造成身心有焦慮與不安感均屬於認定為噪音(行政院環境保護署噪音管制資訊網。檢索日期：2015 年 8 月 4 日取自 <http://ncs.epa.gov.tw/BB/B-04-01.htm>)。當受到噪音長期的刺激的，會造成聽覺能力的受損與身心層面的影響，更會對人類的注意力降低增加在判斷決策的失誤率，以及對反應能力的延遲等情形發生^{1,2}。為了讓我們更加了解人類大腦長期處於聲音刺激狀態下的反應，本研究藉由腦電波(Electroencephalogram: EEG)測量儀器來記錄大腦電位狀況，並將所收集之紀錄資料來做分析討論。

腦電波(EEG)是腦神經細胞及神經纖維在傳導神經脈衝時，所產生出的微弱電位變化，



由於腦電波的能量都較低於其他身體的電訊號，因此腦電波是人體生理訊號中最晚被發現，也是唯一可將心理行為活動展露出來，自 1929 年 Hans Berger 首先發表腦的自發電位 EEG 腦電圖後，超過這半世紀以來，關於 EEG 腦電位相關研究持續不間斷的發展³。EEG 所量測出來均為頭皮上各電極點的電位差異，而在 EEG 波形內中會有隱藏著因為刺激或行為反應等有意義的事件發生，在這有意義事件期間內會產生事件同步之不連續的成分波形，經過加以處理萃取後發現與事件有時間關係的腦電波活動，稱之為事件相關電位(Event-Related Potential：ERP)，ERP 是藉由外加一些特定的刺激，或是要求行為上的反應動作等事件，而因為這些特定的刺激及行為反應動作所引發腦波電位的變化。由於腦電波所擷取的數據包含了其它不相干的生理訊號，對於感官、認知與訊息處理相關過程上的活動是較為困難觀察，為了從 EEG 中提取 ERP 出成分，必須於實驗中給予多次重複刺激，並將每次刺激所含有 ERP 成份的 EEG 加以疊加與平均而取得 ERP，由此技術提取出更具體的單一刺激事件相關腦電位訊號。

因此，為了更加了解人類在聲音的刺激下，位於大腦不同區域的 ERP 反應會有何種不同差異，本研究設計一套聲音刺激實驗，以 80 分貝(dB)的短頓音作為聲音刺激，並給予兩種不同頻率(1000Hz 與 1500Hz) 條件來對雙耳、右耳及左耳進行聲音刺激，利用 EEG 來擷取生理訊號進行析、探討與比較，藉此來了解聲音刺激下腦波的 ERP 反應。

貳、方法與材料

一、受測者

本研究實驗尋找 20 位年齡介於 20~28 歲之青少年且無生理及心理疾病的自願參與者參與研究，並接受完整的實驗說明，進行 Oddball 實驗並同時紀錄其腦電波訊號，排除一位受測者於進行實驗時因臉部有動作過大，產生過大雜訊干擾，因此本研究對 19 位(女性 9 位，男性 10 位，平均年齡為 24.3 歲)之腦電波數據進行分析研究。參與本研究受測者參與之實驗程序與資料擷取過程皆經由臺灣中區區域性研究倫理中心研究倫理審查委員會審核通過(cRREC-101-082)。

二、實驗流程

受測者在獨立無干擾空間中進行聲音刺激實驗並記錄腦電波，受測者以放鬆舒適的坐姿進行測試，在實驗前會先進行一次實驗說明。如圖 1 所示為本研究之實驗流程，首先進行受測者頭皮之電極配置，設定聲音刺激條件後，再進行實驗參數設定，並分別執行 3 種不同的 Oddball 實驗，每項實驗執行 5 分鐘實驗並給予 300 次之聲音刺激，每項實驗之間休息 2 分鐘。每次實驗於檢查電極阻抗值符合小於 5K Ω ，並透過一定的聲音聽覺刺激實驗流程以確保實驗資料擷取的正確性，受測者依據實驗程序指示於實驗之聲音聽覺刺激出現進行實驗並同時紀錄腦波波形及刺激事件等資料。



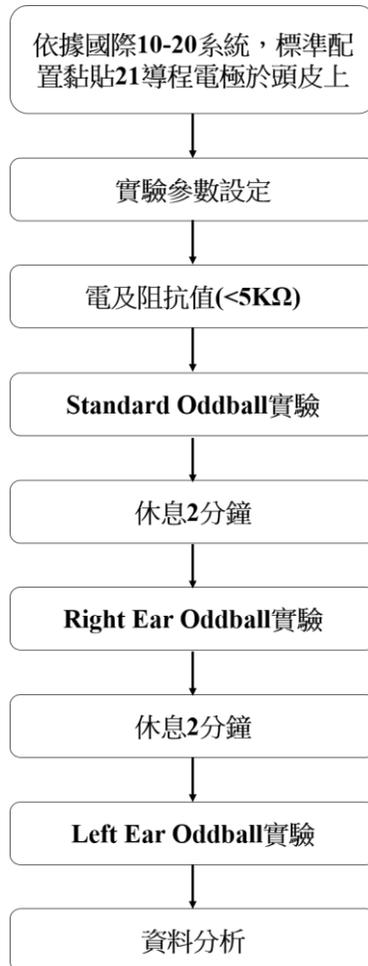


圖 1、本研究之實驗流程圖

(一) Standard Oddball 實驗

受測者雙耳戴上耳機，並給予雙耳兩種聲音刺激，一種為標準刺激之短頓音，頻率為 1000 Hz，80dB，持續 50ms。偏差刺激之短頓音，頻率為 1500Hz，80dB，持續 50ms。標準與偏差兩刺激出現比率分別為 80%與 20%，刺激間隔 1s，此實驗約五分鐘。

(二) Right Ear Oddball 實驗

受測者雙耳戴上耳機，並給予右耳兩種聲音刺激，標準刺激之短頓音，頻率為 1000Hz，80dB，持續 50ms。偏差刺激之短頓音，頻率為 1500Hz，80dB，持續 50ms。標準與偏差兩刺激出現比率分別為 80%與 20%，刺激間隔 1s，此實驗約五分鐘。

(三) Left Ear Oddball 實驗

受測者雙耳戴上耳機，並給予左耳兩種聲音刺激，標準刺激之短頓音，頻率為 1000Hz，



80dB，持續 50ms。偏差刺激之短頓音，頻率為 1500Hz，80dB，持續 50ms。標準與偏差兩刺激出現比率分別為 80%與 20%，刺激間隔 1s，此實驗約五分鐘。

三、腦波紀錄

EEG 信號的提取過程如圖 1 所示，所有 EEG 信號是利用 Neuron Spectrum 4/EPM (俄羅斯) 腦電圖擷取系統來記錄腦電位訊號，依據國際 10-20 系統標準頭皮電極位置黏貼 21 導程之電極點，以 FPz 為參考點，並檢測電極點之阻抗小於 5KΩ，信號擷取通過一個四階高通濾波器，其下限截止頻率設為 0.5Hz 與上限截止頻率設為 50Hz，取樣頻率為 1000Hz。

四、腦電波訊號分析

實驗所記錄每筆腦電波訊號資料依照腦電圖擷取系統所設定之取樣頻率進行資料轉檔。將轉檔後之資料進行 ERP 的提取分析，為避免過於龐大的資料造成電腦分析處理的負擔與分析時間過於攏長，先將資料降低取樣頻率至 250Hz 來提高分析效率。資料分析濾波設定高通濾波器之截止頻率為 0.5Hz，低通濾波器截止頻率為 40Hz，並將對經過濾波後的腦電波訊號因受測者張開眼睛或無法控制，所產生大於 100μV 的振幅眼動訊號去除以消除噪音訊號後之腦電波訊號進行分析。而 ERP 的分析如方程式 1 所示，ERP 的提取分析是將所有試驗的 EEG 依據刺激訊號時間點提取腦波視窗資料 X_i ，腦波視窗時間設定為 1500ms(-500ms~1000ms)，其中 N 指的是每一個實驗區段的刺激次數，其中 X_i 含有每一個腦波視窗內的取樣總數。

$$ERP = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N X_i \quad (1)$$

參、結果與討論

本研究實驗程序擷取 20 位受測者之腦電波數據，排除一位腦波雜訊過大者，僅對 19 位參與者有效之腦電波資料進行分析。本實驗發現平均 19 位受測者之 ERP 振幅於 88ms 至 200ms(88-200ms)之間都有一個明顯的最大的負向及正向波，如圖 2、圖 3 及圖 4 所示，19 位受測者在完成 Oddball 實驗的雙耳、右耳與左耳聲音刺激下的 Fz、Cz 與 Pz 的 ERP 振幅反應，黑色虛線代表 Standard Oddball 實驗(雙耳刺激實驗)的 ERP 振幅，紅色實線代表 Right Ear Oddball 實驗(右耳刺激實驗)的 ERP 振幅，藍色十字符號代表 Left Ear Oddball 實驗(左耳刺激實驗)的 ERP 振幅。

19 位受測者之 Fz、Cz 與 Pz 位於 88-200ms 之間有個最大的負正向 ERP 峰對峰值，如圖 2 所示，量測前額葉電極點 Fz 得到雙耳刺激之 ERP 峰對峰值($V_{pp}=12.269\mu V$,



$V_{min}=-7.561\mu V$, $V_{max}=4.708\mu V$ 大於右耳刺激之 ERP 峰對峰值 ($V_{pp}=9.473\mu V$, $V_{min}=-6.986\mu V$, $V_{max}=2.487\mu V$) 與左耳刺激之 ERP 峰對峰值 ($V_{pp}=11.64\mu V$, $V_{min}=-7.611\mu V$, $V_{max}=4.029\mu V$)。量測 Cz 電極點(圖 3)與 Pz 電極點(圖 4)之 ERP 峰對峰值，同樣所測得雙耳刺激之 ERP 峰對峰值(Cz: $V_{pp}=14.154\mu V$, $V_{min}=-7.167\mu V$, $V_{max}=6.987\mu V$; Pz: $V_{pp}=8.645\mu V$, $V_{min}=-4.058\mu V$, $V_{max}=4.587\mu V$)均大於右耳刺激之 ERP 峰對峰值(Cz: $V_{pp}=10.907\mu V$, $V_{min}=-6.691\mu V$, $V_{max}=4.216\mu V$; Pz: $V_{pp}=6.878\mu V$, $V_{min}=-3.846\mu V$, $V_{max}=3.032\mu V$)與左耳刺激之 ERP 峰對峰值(Cz: $V_{pp}=12.549\mu V$, $V_{min}=-7.127\mu V$, $V_{max}=5.422\mu V$; Pz: $V_{pp}=7.313\mu V$, $V_{min}=-3.94\mu V$, $V_{max}=3.373\mu V$)。由右耳與左耳刺激結果觀察，如圖 2 所示 Fz 電極右耳刺激(88-200ms)之 ERP 峰對峰值($9.473\mu V$)小於左耳刺激之 ERP 峰對峰值($11.64\mu V$)，Cz 電極點(圖 3)與 Pz 電極點(圖 4)之 ERP 峰對峰值也均顯示右耳刺激小於左耳刺激。

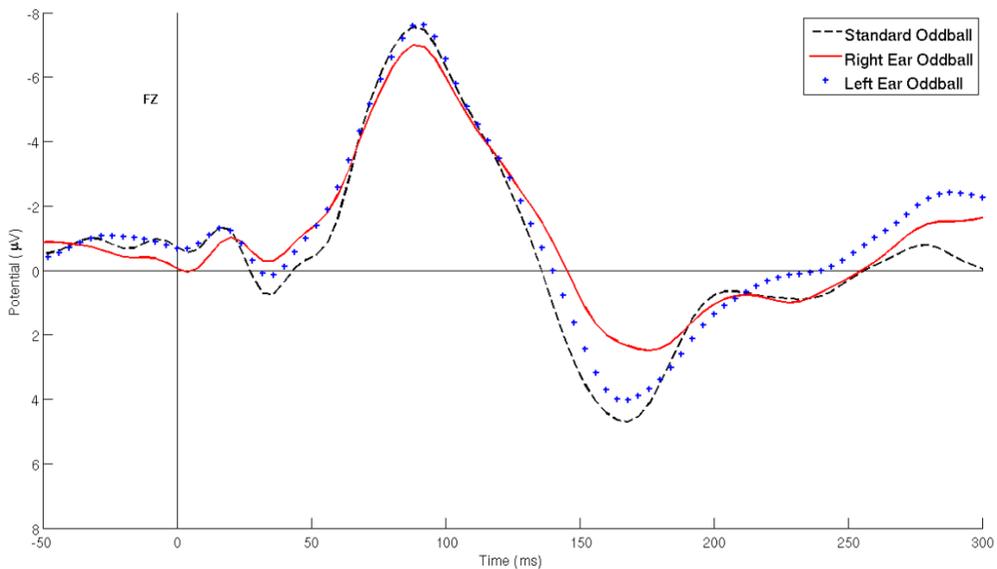


圖 2、19 位受測者電極點 Fz 之 ERP 振幅，黑色虛線為 Standard Oddball 實驗，紅色實線為 Right Ear Oddball 實驗及藍色十字符號線為 Left Ear Oddball 實驗。



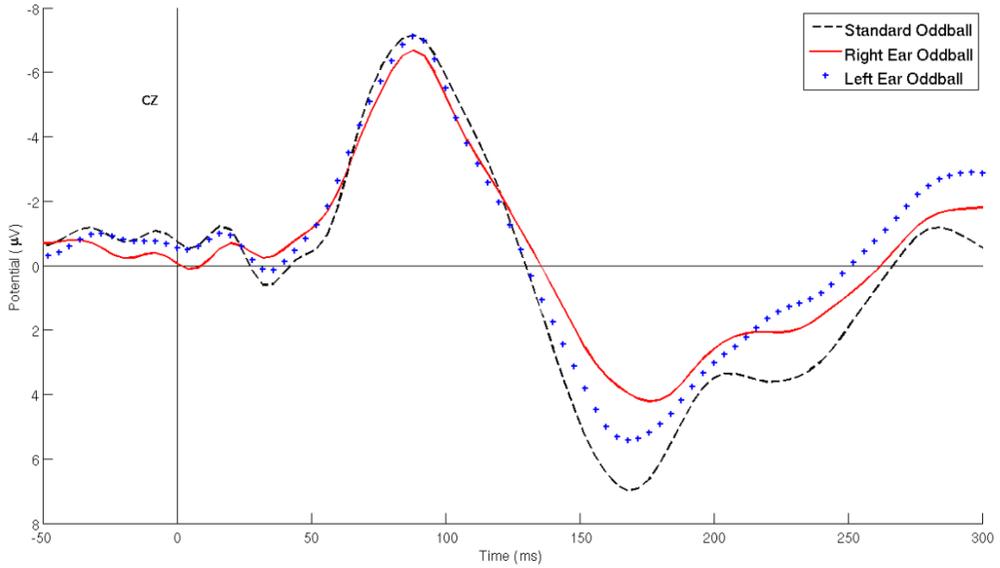


圖 3、19 位受測者電極點 Cz 之 ERP 振幅，黑色虛線為 Standard Oddball 實驗，紅色實線為 Right Ear Oddball 實驗及藍色十字符號線為 Left Ear Oddball 實驗。

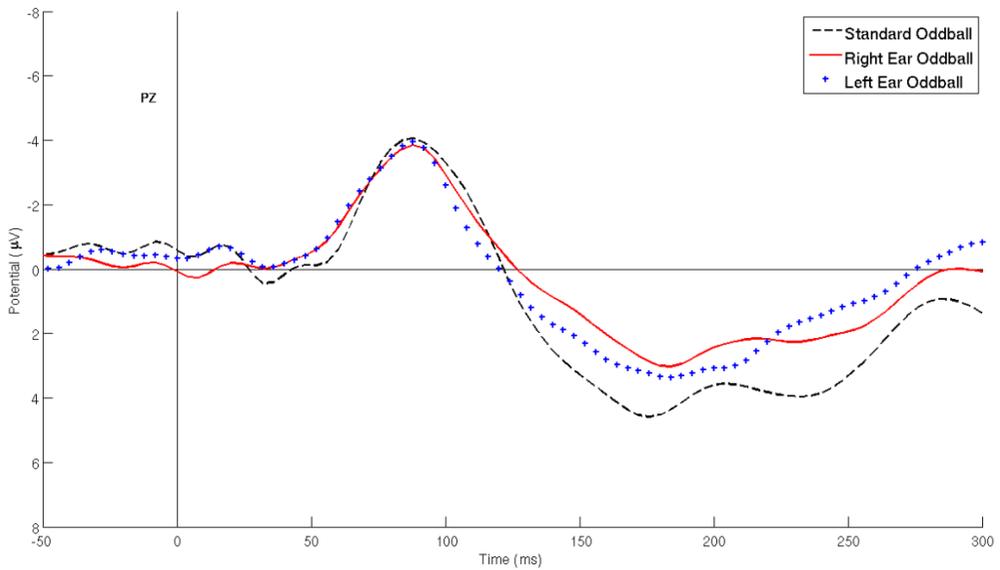


圖 4、19 位受測者電極點 Pz 之 ERP 振幅，黑色虛線為 Standard Oddball 實驗，紅色實線為 Right Ear Oddball 實驗及藍色十字符號線為 Left Ear Oddball 實驗。



此外，以左右側半腦的觀點來看，如圖 5 與圖 6 所示，受測者在 Standard Oddball 實驗分別以左側半腦電極點 F3、C3 與右側半腦電極 F4、C4 之 ERP 振幅來做比較，在圖 5 結果顯示，於 88-200ms 之 ERP，以 F4 之 $V_{pp}=10.902\mu\text{V}$ 大於 F3 之 $V_{pp}=10.455\mu\text{V}$ ，C4 之 ERP 之 $V_{pp}=10.501\mu\text{V}$ 大於 C3 之 ERP 之 $V_{pp}=10.22\mu\text{V}$ (圖 6)。由以上結果得知右側半腦電極(F4、C4)大於左側半腦電極(F3、C3)， Standard Oddball 實驗右側半腦之 ERP 峰對峰值大於左側半腦之 ERP 峰對峰值。

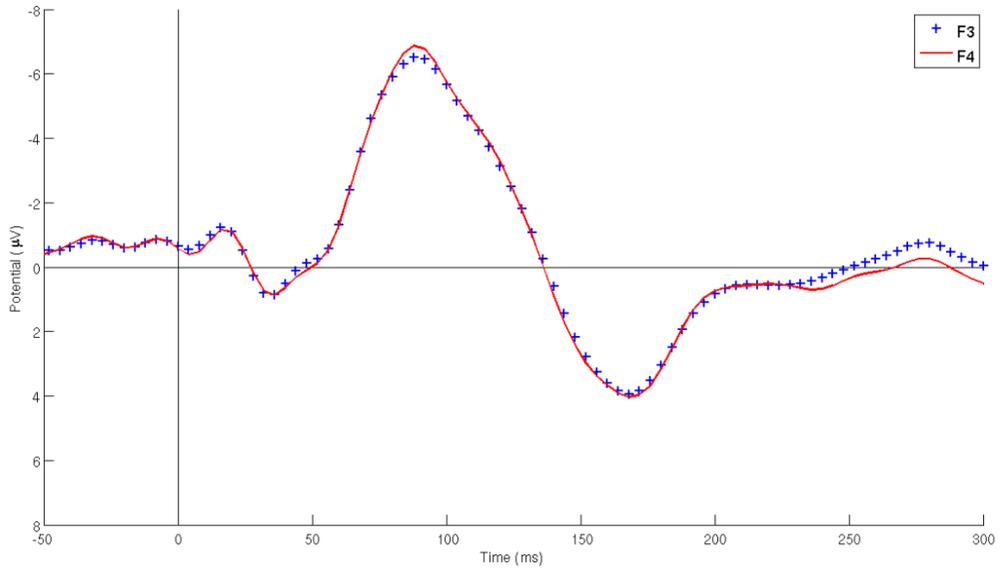


圖 5、19 位受測者 Standard Oddball 實驗電極點 F3 與 F4 之 ERP 振幅比較，藍色十字符號為 F3 電極點，紅色實線為 F4 電極點 (F3: $V_{pp}=10.455\mu\text{V}$, $V_{min}=-6.504\mu\text{V}$, $V_{max}=3.951\mu\text{V}$; F4: $V_{pp}=10.902\mu\text{V}$, $V_{min}=-6.872\mu\text{V}$, $V_{max}=4.03\mu\text{V}$)。



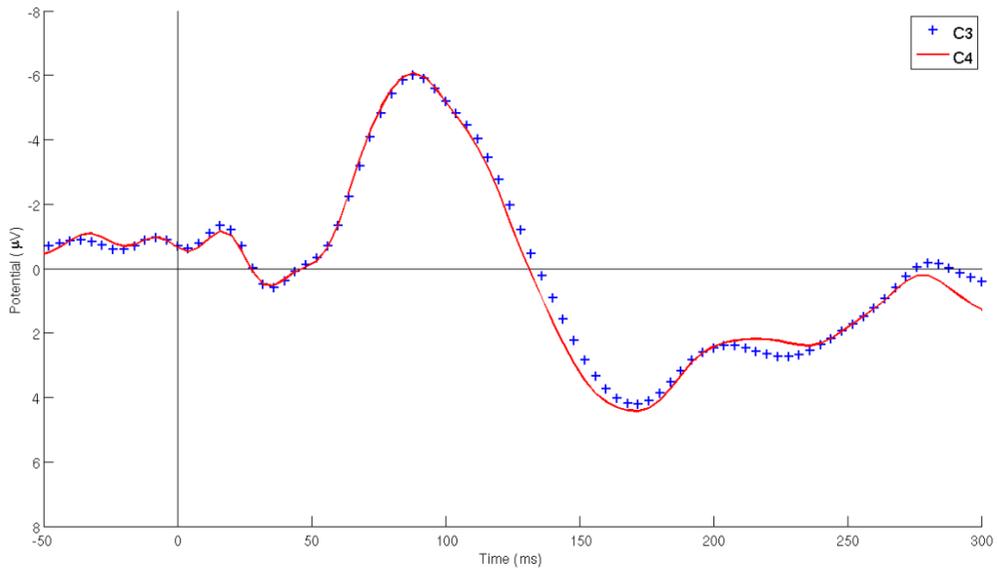


圖 6、19 位受測者 Standard Oddball 實驗電極點 C3 與 C4 之 ERP 振幅比較，藍色十字符號為 C3 電極點，紅色實線為 C4 電極點 (C3: $V_{pp}=10.22\mu V$, $V_{min}=-6\mu V$, $V_{max}=4.22\mu V$; C4: $V_{pp}=10.501\mu V$, $V_{min}=-6.072\mu V$, $V_{max}=4.429\mu V$)。

另外觀察 Right Ear Oddball 實驗與 Left Ear Oddball 實驗之量測結果。首先，如圖 7 與圖 8 所示為右耳刺激實驗各別於左右側半腦電極觀測點之 ERP 振幅，藍色十字符號為左側半腦觀測點(F3 與 C3)之 ERP 振幅，紅色實線為右側半腦觀測點(F4 與 C4)，量測額葉區電極(圖 7)於 88-200ms 之 ERP 峰對峰值，測得左側額葉區電極 F3 之 ERP 峰對峰值略大於右側額葉區電極 F4 之 ERP 峰對峰值。量測中央區域電極(圖 8) ERP 峰對峰值，測得左側中央區電極 C3 之 ERP 峰對峰值也較大於右側中央區電極 C4 之 ERP 峰對峰值。



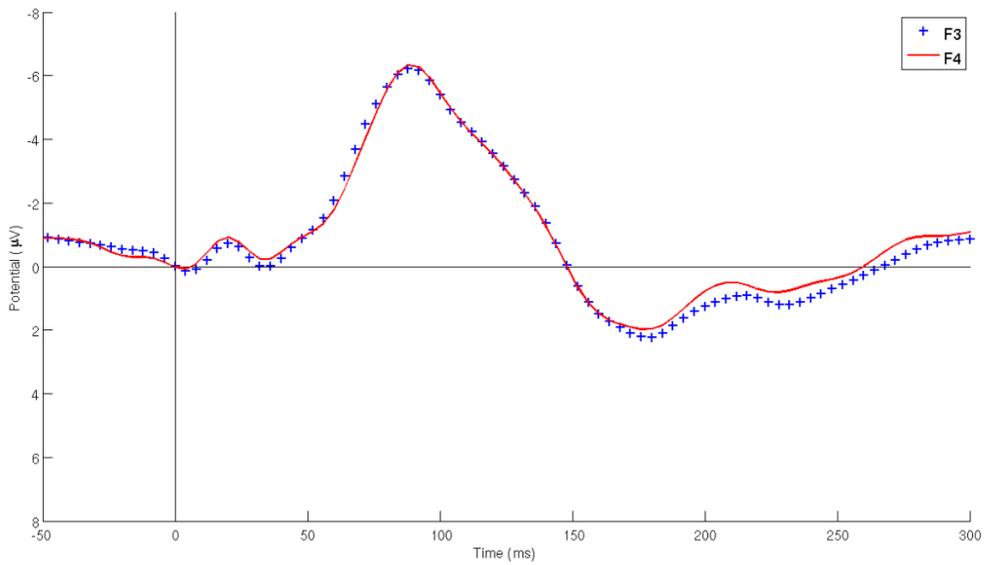


圖 7、19 位受測者於 Right Ear Oddball 實驗電極點 F3 與 F4 之 ERP 振幅比較，藍色十字符號為 F3 電極點，紅色實線為 F4 電極點(F3: $V_{pp}=8.302\mu V$, $V_{min}=-6.23\mu V$, $V_{max}=2.222\mu V$; F4: $V_{pp}=8.302\mu V$, $V_{min}=-6.334\mu V$, $V_{max}=1\mu V$)。

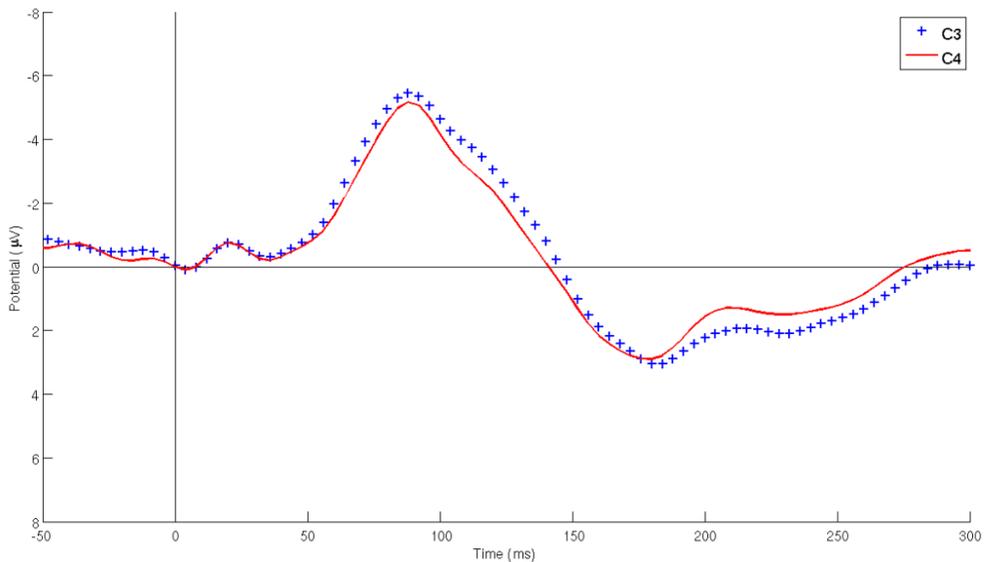


圖 8、19 位受測者於 Right Ear Oddball 實驗電極點 C3 與 C4 之 ERP 振幅比較，藍色十字符號為 C3 電極點，紅色實線為 C4 電極點 (C3: $V_{pp}=8.5\mu V$, $V_{min}=-5.45\mu V$, $V_{max}=3.05\mu V$; C4: $V_{pp}=8.064\mu V$, $V_{min}=-5.167\mu V$, $V_{max}=2.897\mu V$)。

再觀察左耳刺激實驗之 ERP 振幅結果如圖 9 與圖 10 所示，同樣量測額葉區電極 F3、



F4 與中央區域電極 C3、C4，藍色十字符號為左側半腦觀測點(F3 與 C3)之 ERP 振幅，紅色實線為右側半腦觀測點(F4 與 C4)，額葉區電極(圖 9)於 88-200ms 之 ERP 峰對峰值，所測得左側額葉區電極 F3 之 ERP 峰對峰值(9.583 μ V)較小於右側額葉區電極 F4 之 ERP 峰對峰值(10.569 μ V)。再量測中央區域電極(圖 10) 同樣該期間之 ERP 峰對峰值，測得左側中央區電極 C3 之 ERP 峰對峰值(8.942 μ V)也較小於右側中央區電極 C4 之 ERP 峰對峰值(9.757 μ V)。

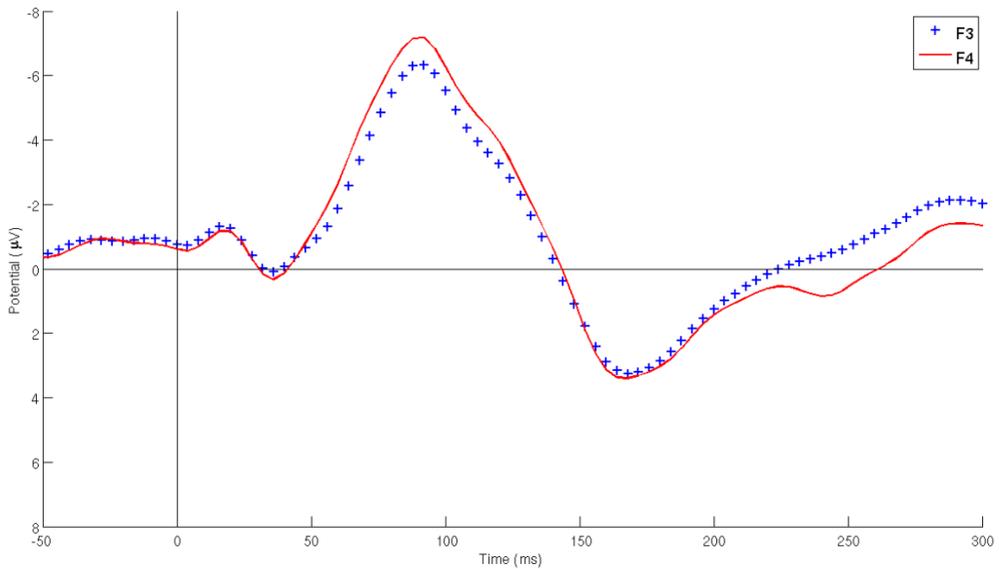


圖 9、19 位受測者於 Left Ear Oddball 實驗電極點 F3 與 F4 之 ERP 振幅比較，藍色十字符號為 F3 電極點，紅色實線為 F4 電極點 (F3: $V_{pp}=9.583\mu V$, $V_{min}=-6.328\mu V$, $V_{max}=3.255\mu V$; F4: $V_{pp}=10.569\mu V$, $V_{min}=-7.169\mu V$, $V_{max}=3.4\mu V$)。



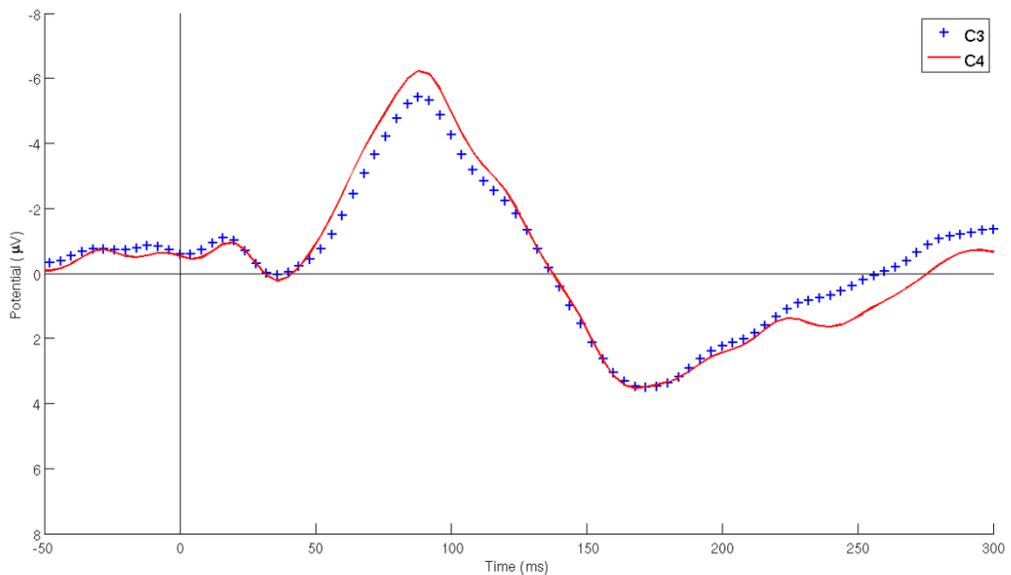


圖 10、19 位受測者於 Left Ear Oddball 實驗電極點 C3 與 C4 之 ERP 振幅比較，藍色十字符號為 C3 電極點，紅色實線為 C4 電極點 (C3: $V_{pp}=8.942\mu V$, $V_{min}=-5.431\mu V$, $V_{max}=3.511\mu V$; C4: $V_{pp}=9.757\mu V$, $V_{min}=-6.227\mu V$, $V_{max}=3.53\mu V$)。

所有受測者是以閉眼狀態放鬆坐姿進行，受測者不對任何標準刺激或偏差刺激做額外的動作與記憶相關任務，建立了對於聲音刺激的腦電位反應的模型。而大腦的結構依照人體解剖顯示可分為左右兩側半腦，而半腦之間則藉由胼胝體來連結相互傳遞訊息^{4,5}，所以大腦在聲音的刺激下在電極點 Fz 與 Cz 所接收到的訊息反應都較為其他區域電極點來得明顯。從三種聲音刺激實驗觀察到 Fz 與 Cz 的結果，於 88-200ms 之 ERP 峰對峰值顯示，雙耳刺激實驗與左耳刺激實驗之 ERP 峰對峰值明顯大於右耳刺激實驗，在左耳刺激實驗與右耳刺激實驗的結果，與 Darwin⁶ 利用雙耳異聽刺激實驗顯示，非語言聲音刺激識別以左耳為主的結果相呼應。

在短頓音刺激下，左右側半腦反應振幅分別於三種實驗的之 ERP 峰對峰值顯示 (88-200ms)，在 Standard Oddball 實驗與 Left Ear Oddball 實驗中，左側半腦電極 F3 與 C3 小於右側半腦電極 F4 與 C4 之 ERP 峰對峰值，在雙耳刺激實驗左右側額葉區電極(F3 與 F4) 之 ERP 峰對峰值相差 $0.447\mu V$ ，左右側中央區域電極(C3 與 C4)之 ERP 峰對峰值相差 $0.281\mu V$ 。左耳刺激實驗左右側額葉區電極(F3 與 F4)之 ERP 峰對峰值相差 $0.986\mu V$ ，左右側中央區域電極(C3 與 C4)之 ERP 峰對峰值相差 $0.815\mu V$ 。

在過去左右半腦功能偏側化等相關文獻與研究，右側半腦是以非語詞認知功能為主要優勢，在非語言音調刺激下右側半腦反應較左側半腦反應大⁷⁻¹⁰，左右半腦偏側現象中，牟宏宇等人¹¹與 Raylls 等人¹²對於音調的刺激下會呈現右半腦優勢，而本實驗在雙耳刺激實驗



與左耳刺激實驗的結果同樣有較明顯右半腦優勢現象。但 Scheffler 等人¹³ 在 10 位受測者的雙耳純音刺激結果顯示略有左半腦優勢，這樣的結果在本實驗的右耳刺激實驗有相同的現象，結果顯示左右側額葉區電極(F3 與 F4)與左右側中央區域電極(C3 與 C4)同樣 88-200ms 之 ERP，左側半腦電極 F3 與 C3 略大於右側半腦電極 F4 與 C4 之 ERP 峰對峰值，左右側額葉區電極(F3 與 F4)之 ERP 峰對峰值相差 0.15 μ V，左右側中央區域電極(C3 與 C4)之 ERP 峰對峰值相差 0.436 μ V。

本研究結果比較與過去聲音刺激相關研究之結果，先前相關研究於刺激條件設定上，均給予兩種不同類型的聲音刺激，以藉由不同類型的刺激來更突顯反應的差異。在非語言音調刺激，右半腦在處理非語言音調上較左半腦優勢，但並不代表右半腦是唯一處理非語言音調的區域¹⁴。而本實驗受測者只給予兩種同樣類型不同頻率的刺激條件下來進行討論，未來還需再改進增加實驗刺激的類型、頻率及分貝條件，以及進行更多研究來對大腦的反應程度做深入探討。

肆、結 論

在整個聲音刺激實驗中，雙耳聲音刺激實驗、右耳聲音刺激實驗與左耳聲音刺激實驗，於 88-200ms 均會出現一最大的 ERP 峰對峰值，在於 Fz 與 Cz 均顯示雙耳聲音刺激實驗與左耳聲音刺激實驗之 ERP 振幅均較大於右耳聲音刺激實驗之 ERP 振幅。在雙耳聲音刺激實驗與左耳聲音刺激有顯著規律的右側半腦電極 F4、C4 之 ERP 振幅大於左側半腦電極 F3、C3 之 ERP 振幅。

伍、誌 謝

感謝本實驗室團隊成員毛棋達、王雅蓁、詹天佑及林子毓協助實驗數據的採集。本研究承元培醫事科技大學補助計畫 103-COMP6017-02 提供經費之支持，特此感謝。

參考文獻

1. Jiang, Zhao-xu, Meng, Zi-hou, et al, "Brainwave features and psychological reactions under the stimulation of binaural auditory beats," Technical Acoustics, Vol.31, No.4 Aug. 2012.
2. 劉峰國，以腦波評估噪音對人的反應之影響，2010 年，產業安全衛生與防災研究所。
3. 魏景漢、羅耀嘉，認知事件相關腦電位教程，北京：經濟日報出版社，2002 年。
4. 李玉菁等編譯，人體解剖學，臺北市：美商麥格羅希爾國際股份有限公司，2000 年，324-325 頁。
5. 麥麗敏等，簡明解剖生理學，臺北市：華杏出版股份有限公司，2003 年，230-232 頁。
6. Darwin DJ., "Dichotic backward masking of complex sounds," The Quarterly journal of



- experimental psychology, Vol. 23, No. 4, 1971, pp.386-392 .
7. Eccles John C.，腦的認識，臺北市：大中國圖書出版，1973 年，205-213 頁。
 8. 黑谷亨，圖解大腦奧秘，臺北市：書泉出版，2008 年，58 頁。
 9. 黑谷亨，圖解大腦奧秘，臺北市：書泉出版，2008 年，160-162 頁。
 10. 麥可.史威尼，國家地理腦適能完全指南，臺北市：大石國際文化，2013 年，140-141 頁。
 11. 牟宏宇，原猛，馮海宏，「雙耳分聽漢語普通話聲調研究」，聲音技術，第 33 卷第 1 期，2014 年，41-45 頁。
 12. Ryalls, J., Reinvang, I., “Functional lateralization of linguistic tones: Acoustic evidence from Norwegian,” *Language and Speech*, Vol. 29, No. 4, 1986, pp.389-398.
 13. Scheffler, K., Bilecen, D., Schmid, N., Tschopp, K., & Seelig, J., “Auditory cortical responses in hearing subjects and unilateral deaf patients as detected by functional magnetic resonance imaging,” *Cerebral cortex*, Vol. 8, No. 2, 1998, pp. 156-163.
 14. 周文芳，不同聲刺激測試聽覺事件相關電位的臨床研究，2012，南方醫科大學生物統計學系碩士論文

